

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-312462

(43)Date of publication of application : 28.11.1995

(51)Int.Cl.

H01S 3/18

(21)Application number : 06-223329

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 19.09.1994

(72)Inventor : MORI KENZO

(30)Priority

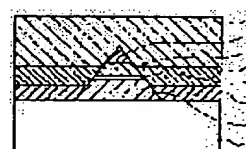
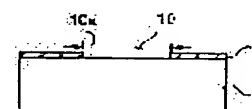
Priority number : 06 53783 Priority date : 24.03.1994 Priority country : JP

(54) SURFACE LASER BEAM EMITTING DIODE AND MANUFACTURING METHOD THEREOF

(57)Abstract:

PURPOSE: To manufacture a vertical resonator type laser beam emitting diode running no reactive current between a current block layers and an upper clad layer close to an active layer.

CONSTITUTION: A selective growing mask 9 having a rectangular aperture part 10 with two sides in (011) and (01 $\bar{1}$) directions is formed on a semiconductor substrate 1 having a (100) surface and then a mesa part including an active layer 3 wherein the crest of the mesa part terminates at the ridge line in (011) direction is formed on the substrate 1 having (100) surface and after the removal of the mask 9, current block layers 5, 7 and a contact layer 8 are grown using the stoppage of the crystal growth at four (111) B surfaces. Through these procedures, a semiconductor layer can be formed by MOCVD process having excellent shape controllability without using wet etching step thereby enabling a reactive current to be suppressed near the mesa structure.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-312462

(43) 公開日 平成7年(1995)11月28日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願平6-223329

(22) 出願日 平成6年(1994)9月19日

(31) 優先権主張番号 特願平6-53783

(32) 優先日 平6(1994)3月24日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 森 健三

兵庫県伊丹市瑞原4丁目1番地 三菱電機
株式会社光・マイクロデバイス開発研究
所内

(74) 代理人 弁理士 早瀬 憲一

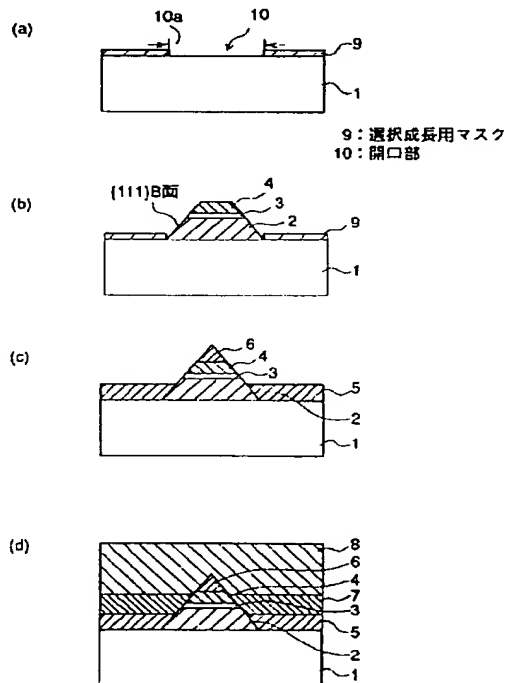
(54) 【発明の名称】 面発光レーザダイオードの製造方法、及び面発光レーザダイオード

(57) 【要約】

【目的】 活性層近傍の、電流ブロック層と上クラッド層間等での無効電流の流れない垂直共振器型面発光レーザダイオードを製造する。

【構成】 {100}面を有する半導体基板1上に<011>方向、及び<01/1>方向の2辺をもつ矩形開口部10を有する選択成長用マスク9を形成し、上記基板1上に選択成長によりそのメサ部の頂上が<011>方向の稜線で終端するような活性層3を含むメサ部を形成し、上記マスク9を除去した後、4つの{111}B面で結晶成長が停止することを利用して、電流ブロック層5、7、及びコンタクト層8を成長する。

【効果】 ウェットエッチングを用いることなく、形状制御性の良いMOCVD法により半導体層を形成して、メサ構造近傍での無効電流の抑制を可能とした。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 垂直共振器型の面発光レーザダイオードを製造する方法において、

〔100〕面〔(100)面を含むこれと等価な面〕を有する半導体基板上に、〈011〉方向〔[011]方向と等価な方向〕、及び〈01 $\bar{1}$ 〉方向〔[01 $\bar{1}$]方向と等価な方向〕の辺をもつ矩形開口を有する選択成長用マスクを形成する工程と、

上記半導体基板上の上記選択成長用マスクの矩形開口上に、選択成長により、4つの〔111〕B面〔(111)B面を含むこれと等価な方向〕を有し、そのメサ部の頂上部が、〈011〉方向〔[011]方向を含むこれと等価な方向〕の稜線にて終端するような、活性層を含む半導体層よりなるメサ部を形成する工程と、

上記選択成長用マスクを除去する工程と、

上記選択成長用マスクを除去して露出した上記半導体基板上に、電流ブロック層、及びコンタクト層を成長させ、その際上記半導体層よりなるメサ部の4つの〔111〕B面〔(111)B面を含むこれと等価な面〕では結晶成長が停止するような成長を行わせる工程と、
上記半導体基板に、その裏面よりエッチングを行って面発光出力の出力用の開口を形成する工程とを含むことを特徴とする面発光レーザダイオードの製造方法。

【請求項2】 請求項1記載の面発光レーザダイオードの製造方法において、

上記半導体基板は、p型InP基板であり、

上記選択成長用マスクの矩形開口に露出する上記半導体基板上に、メサ部となる活性層を含む半導体層を選択成長する工程は、p型InPバッファ層、InGaAsP活性層、n型InP第1クラッド層を選択成長するものであり、

上記選択成長用マスクを除去して露出した上記基板上に、電流ブロック層、及びコンタクト層を成長させる工程は、n型InP、p型InPを順次成長させるものであり、その際上記バッファ層、活性層、第1クラッド層よりなるメサ部の4つの〔111〕面〔(111)B面を含むこれと等価な面〕ではInPの結晶成長が起らず、上記基板上にn型InPブロック層が、上記メサ部の第1クラッド層上には断面三角形形状のn型InP第2クラッド層が成長し、

かつ上記基板上に成長した上記n型InPブロック層上に、及び上記断面三角形形状のn型InP第2クラッド層上に、n型InPコンタクト層が成長するものであることを特徴とする面発光レーザダイオードの製造方法。

【請求項3】 請求項1または2に記載の面発光レーザダイオードの製造方法において、

上記半導体基板上に選択成長マスク、及び選択成長層を形成する前に、エッチングストップ層を形成する工程を備え、

上記半導体基板を、その裏面よりエッチングを行って面

発光出力の出力用の開口を形成する工程は、上記半導体基板を、上記エッチングストップ層までエッチングし、かつ該エッチングストップ層をも除去して該開口を形成する工程であることを特徴とする面発光レーザダイオードの製造方法。

【請求項4】 請求項1ないし3のいずれかに記載の面発光レーザダイオードの製造方法において、

上記電流ブロック層、及びコンタクト層を成長させた後、その上に垂直共振器を構成する第1の反射膜を形成する工程と、

上記半導体基板に、その裏面よりエッチングを行って開口を形成した後、該開口の底面に垂直共振器を構成する第2の反射膜を形成する工程とを、さらに含むことを特徴とする面発光レーザダイオードの製造方法。

【請求項5】 請求項1または2に記載の面発光レーザダイオードの製造方法において、

上記半導体基板上に上記選択成長マスク、及び選択成長膜を成長する前に、該半導体基板上に第2の半導体反射膜を形成する工程を含み、

上記電流ブロック層、及びコンタクト層を成長させる工程は、該コンタクト層につづいて垂直共振器を構成する第1の半導体反射膜を成長させる工程であることを特徴とする面発光レーザダイオードの製造方法。

【請求項6】 請求項1ないし5のいずれかに記載の面発光レーザダイオードの製造方法において、

上記選択成長用マスクとして、デバイス作製領域の近傍に、上記メサ部を形成する活性層を含む半導体層をダミーに成長させるためのダミー成長用開口部を有するものを用いたことを特徴とする面発光レーザダイオードの製造方法。

【請求項7】 請求項6に記載の面発光レーザダイオードの製造方法において、

上記選択成長用マスクのダミー成長用開口部は、相互に隣接して繰り返し配置される各デバイス作製領域の、ある繰り返しパターンごとの該デバイス作製領域そのものを、ダミー成長用開口部としたものであることを特徴とする面発光レーザダイオードの製造方法。

【請求項8】 請求項1または2に記載の垂直共振器型面発光レーザダイオードの製造方法において、

上記選択成長用マスクに、各ダイオードのユニット幅に対する各矩形開口の寸法が異なり、各ダイオード毎の開口率が異なる複数の矩形開口を有するものを用いて、多波長のレーザ光を出力するダイオードのアレイ構造をモノリシックに作製してなる多波長面発光レーザダイオードアレイを製造することを特徴とする面発光レーザダイオードの製造方法。

【請求項9】 請求項1または2に記載の面発光レーザダイオードの製造方法において、

上記選択成長用マスクを形成する工程の前に、上記半導体基板上にあらかじめ選択エッチング可能な層を形成す

る工程と、

上記選択成長用マスクを除去した後に、該マスク直下の選択エッチング可能なダメージを受けた層を選択エッチングにより除去する工程と、

その後上記半導体基板上に電流ブロック層、及びコンタクト層を形成する工程とを含むことを特徴とする面発光レーザダイオードの製造方法。

【請求項10】 埋め込みヘテロ構造型の垂直共振器型半導体面発光レーザダイオードにおいて、

{100}面〔(100)面を含むこれと等価な面〕を有する半導体基板上に形成された、(011)方向〔[011]方向と等価な方向〕、及び(01/1)方向〔[01/1]方向と等価な方向〕の2辺をもつ矩形形状を底面とし、4つの(111)B面で囲まれ、頂上部が(011)方向〔[011]方向を含むこれと等価な方向〕の稜線にて終端する半導体層よりなるメサ部と、

該メサ部の4つの(111)B面〔(111)B面を含むこれと等価な方向〕上には成長が行われず、上記{100}面を有する半導体基板上のみに形成された電流ブロック層、及びコンタクト層とを有することを特徴とする面発光レーザダイオード。

【請求項11】 請求項10に記載の面発光レーザダイオードにおいて、

上記半導体層よりなるメサ部は、4つの上記{111}B面を有する、上記{100}面を有するp型InP基板上に順次形成された、p型InPバッファ層、InGaAsP活性層、n型InP第1クラッド層、及びn型InP第2クラッド層よりなり、

上記電流ブロック層、及びその上のコンタクト層は、n型InPブロック層、p型InPブロック層、n型InPコンタクト層であることを特徴とする面発光レーザダイオード。

【請求項12】 請求項10または11に記載の面発光レーザダイオードにおいて、

上記半導体基板の裏面をエッチングして形成した開口の底面に形成された第1の誘電体反射膜と、

上記半導体層よりなるメサ部上に成長した上記ブロック層、コンタクト層上に形成された第2の誘電体反射膜とを有することを特徴とする面発光レーザダイオード。

【請求項13】 請求項10または11に記載の面発光レーザダイオードにおいて、

上記半導体基板と、上記メサ部の半導体層との間に形成された第1の半導体反射膜と、

上記半導体層よりなるメサ部上に成長した上記ブロック層、コンタクト層上に形成された第2の半導体反射膜とを、さらに有することを特徴とする面発光レーザダイオード。

【請求項14】 請求項10または11に記載の垂直共振器型面発光レーザダイオードにおいて、

複数の異なる波長のレーザ光をそれぞれ出力する複数のレーザダイオードが、アレイ構造にモノリシックに作製されてなることを特徴とする面発光レーザダイオード。

【請求項15】 請求項10または11に記載の垂直共振器型面発光レーザダイオードにおいて、

選択プレーティッドヒートシンク(PHS)構造を、活性層部の近傍に設けてなることを特徴とする面発光レーザダイオード。

【請求項16】 請求項13に記載の垂直共振器型面発光レーザダイオードにおいて、

上記コンタクト層上に形成された第2の半導体反射膜が、上記活性層に対向する側と反対側に凸となった凸状湾曲反射鏡形状に形成されていることを特徴とする面発光レーザダイオード。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は面発光レーザダイオードの製造方法、及び面発光レーザダイオードに関し、特に無効電流の少ない、良好な特性を有する垂直共振器型面発光レーザダイオード、及びこれを製造する方法、さらには該製造方法において用いる選択成長用マスクに関するものである。

【0002】

【従来の技術】図16は、例えば、ELECTRONICS LETTER S, 1993, 29, pp331-332 に示された、従来の垂直共振器型面発光レーザダイオードを示す。図において、101はInP基板、102はn型InGaAsPエッチングストップ層、103はn型InP下クラッド層、104はp型InPブロック層、105はn型InPブロック層、106はp型InP上クラッド層、107はp型GaInAsPキャップ層、108はp側電極、109はn側電極、110a、110bは第1、第2のSiO₂/Si多層反射膜、111は発光波長が1.3μmのp型GaInAsP活性層、112は上記InP基板101にその裏面よりエッチングにより開口された開口、113は該開口112より、上記活性層111で発生された光が多層反射膜110を介して出射される光出力である。

【0003】このデバイス構造は、効率のよいキャリア閉じ込めと、放熱とを実現するために、その円形の活性領域が、p型、及びn型InPブロック層104、105で埋め込まれ、さらにp型InPクラッド層106により覆われた構造となっている。この垂直共振器型面発光レーザダイオードにおいては、n側電極109とp側電極108との間に電圧を印加すると、p側電極108側からは、p型GaInAsPキャップ層107、p型InP上クラッド層106を介して、n側電極109側からは、InP基板101、n型InGaAsPエッチングストップ層102、n型InP下クラッド層103を介して、p型GaInAsP活性層111に電流が注

5

入され、該活性層において発光再結合が起こる。該発光再結合により生じた光は、かつ該活性層を両側から挟むp型InPブロック層104、n型InPブロック層105により電流閉じ込めが行われるとともに、該活性層111を含む半導体層と、その上下に位置する第1、第2のSiO₂/Si多層反射膜110a、110bとにより垂直共振器が構成されて、InP基板101の裏面に形成された開口112側に、下側の多層反射膜110aを介して面発光レーザ出力113として出射される。

【0004】そして、この従来の垂直共振器型面発光レーザダイオードは、その製造においては、以下に説明するように、2回のLPE、及びウェットエッチングを用いて製造される。

【0005】即ち、まず、(100)InP基板101上に、1μmのn型InGaAsPエッチングストップ層102、2μmのn型InP下クラッド層103、0.7μmのp型GaInAsP活性層111、0.3μmのp型InP上クラッド層106をLPE (Liquid Phase Epitaxy) により成長して、DH (ダブルヘテロ) ウェハを用意する。次に、そのウェハをKKIエッチャント (CH₃COOH:HCl:H₂O₂ = 2:1:1)、及びSiO₂マスクを用いて高さ2μmの円形メサを形成する。SiO₂マスクを除去したのち、各々1μm厚のブロック層104、105、p型InPクラッド層106、及びp⁺GaInAsPキャップ層107を、第2回目のLPE法により、メルトバックプロセスなしで連続的に成長する。

【0006】以下は、活性層111の真上のキャップ層107の除去による窓キャップ構造の形成、基板101の図示下面からのエッチングによる面発光出力の出力用開口112の形成等の工程を行い、図16に示す面発光レーザダイオードを作製する。

【0007】しかるに、このような従来の面発光レーザダイオードの製造方法においては、活性層を含む能動層を、直径約12μmの微小円形導波路、即ち円形メサ構造に加工する方法として、上記のようにLPE法により、n型InGaAsPエッチングストップ層102、n型InP下クラッド層103、p型GaInAsP活性層111、p型InP上クラッド層106、の各半導体層の成長を行ったのち、ウェットエッチング法を用いていたため、その形状制御性が悪く、ばらつきが大きかった。

【0008】また、上記円形メサ構造を埋め込んでなる埋込ヘテロ構造を作る方法として、これもLPE法を用いていたが、このLPE法では該円形メサ構造の近傍に形成する層の形状制御性が悪いため、該活性層近傍において、各n型、p型層の界面近傍状態によって発生する、レーザ動作に貢献しない無効電流を少なくすることが困難であるという問題があった。

【0009】この点に関し、上記円形メサ構造を作製す

6

る方法として、形状制御性のすぐれたドライエッチング法を用いることも考えられるが、この方法では、露出した活性層端部にエッチングダメージがはいるために、これによってかえって無効電流が増加することとなり、上記ドライエッチング法のメリットを十分に引き出すことはできなかった。

【0010】また、上記従来例では、活性層部の発熱の放熱性については、円形活性領域をp型、及びn型InPブロック層で埋め込み、さらにp型InPクラッド層により覆ってなる上記構造においても、十分な放熱性が得られているものではなく、活性層部の温度が上昇することによってデバイス特性の低下が生ずることは避けられないものであった。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】以上のように、従来の垂直共振器型面発光レーザダイオードの作製においては、活性層を含む能動層である円形メサ構造を作製する際、これをLPE法、及びウェットエッチングによっていたため、その形状制御性が悪く、またさらに、埋込ヘテロ構造を作る方法であるLPE法では、円形メサ構造近傍の形状制御性が悪いため、活性層近傍を流れる無効電流を少なくすることが困難であった。また、上記円形メサ構造の作製法に制御性のすぐれたドライエッチング法を用いた場合には、露出した活性層端部にエッチングダメージがはいて無効電流が増加してしてしまうという問題があった。またさらには、活性層部の発熱の放熱性が悪いことにより、活性層部の温度上昇によるデバイス特性の低下が避けられないという問題があった。

【0012】本発明は以上のような問題点を解消するためになされたもので、無効電流の少ない良好な特性を有する垂直共振器型面発光レーザダイオードの製造方法、及びこれにより製造される面発光レーザダイオードを提供することを目的としている。

【0013】また、本発明は、活性層部の発熱の放熱性が良く、活性層部の温度上昇によりデバイス特性の低下を不可避免的に生ずることのない面発光レーザダイオードを提供することを目的としている。

【0014】

【課題を解決するための手段】この発明にかかる面発光レーザダイオードの製造方法は、{100}面を有する半導体基板上に〈011〉方向の辺をもつ矩形開口を有する選択成長用マスクを形成する工程と、上記半導体基板上の選択成長により活性層を含むメサ部を形成する工程と、上記選択成長用マスクを除去した後、4つの{111}B面で結晶成長が停止することを利用して、電流ブロック層およびコンタクト層を形成する工程とを含むことを特徴とするものである。

【0015】即ち、この発明にかかる垂直共振器型の面発光レーザダイオードの製造方法は、{100}面を有する半導体基板上に、〈011〉方向、及び〈011

1) 方向の2辺をもつ矩形開口を有する選択成長マスクを形成する工程と、上記半導体基板上の上記選択成長用マスクの矩形開口上に、選択成長により、4つの{111} B面を有し、そのメサ部の頂上部が、〈011〉方向の稜線にて終端するような、活性層を含む半導体層よりなるメサ部を形成する工程と、上記選択成長用マスクを除去する工程と、上記選択成長用マスクを除去して露出した上記半導体基板上に、電流ブロック層、及びコンタクト層を成長させ、その際上記半導体層よりなるメサ部の4つの{111} B面では結晶成長が停止するような成長を行わせる工程と、上記半導体基板に、その裏面よりエッチングを行って面発光出力の出力用の開口を形成する工程とを含むことを特徴とするものである。

【0016】またこの発明は、上記面発光レーザダイオードの製造方法において、上記半導体基板は、p型InP基板であり、上記選択成長用マスクの矩形開口に露出する上記半導体基板上に、メサ部となる活性層を含む半導体層を選択成長する工程は、p型InPバッファ層、InGaAsP活性層、n型InP第1クラッド層を選択成長するものであり、上記選択成長用マスクを除去して露出した上記基板上に、電流ブロック層、及びコンタクト層を成長させる工程は、n型InP、p型InPを順次成長させるものであり、その際上記バッファ層、活性層、第1クラッド層よりなるメサ部の4つの{111} B面ではInPの結晶成長が起こらず、上記基板上にn型InPブロック層が、上記メサ部の第1クラッド層上には断面三角形のn型InP第2クラッド層が成長し、かつ上記基板上のn型InPブロック層上にp型InPブロック層が成長するものとしたものである。

【0017】またこの発明は、上記面発光レーザダイオードの製造方法において、上記半導体基板上に選択成長マスク、及び選択成長層を形成する前に、エッチングストッパ層を形成する工程を備え、上記半導体基板を、その裏面よりエッチングを行って面発光出力の出力用の開口を形成する工程は、上記エッチングストッパ層までエッチングし、かつ該エッチングストッパ層をも除去して該開口を形成する工程としたものである。

【0018】またこの発明は、上記面発光レーザダイオードの製造方法において、上記電流ブロック層、及びコンタクト層を成長させた後、その上に垂直共振器を構成する第1の反射膜を形成する工程と、上記半導体基板に、その裏面よりエッチングを行って開口を形成した後、該開口の底面に垂直共振器を構成する第2の反射膜を形成する工程とを、さらに含むことを特徴とするものである。

【0019】またこの発明は、上記面発光レーザダイオードの製造方法において、上記半導体基板上に上記選択成長マスク、及び選択成長膜を成長する前に、該半導体基板上に第2の半導体反射膜を形成する工程を含み、上記電流ブロック層、及びコンタクト層を成長させる工程

は、該コンタクト層につづいて垂直共振器を構成する第1の半導体反射膜を成長させる工程としたものである。

【0020】またこの発明は、上記面発光レーザダイオードの製造方法において、上記選択成長用マスクとして、デバイス作製領域の近傍に、上記メサ部を形成する活性層を含む半導体層をダミーに成長させるためのダミー成長用開口部を有するものを用いたことを特徴とするものである。

【0021】またこの発明は、上記面発光レーザダイオードの製造方法において、上記選択成長用マスクのダミー成長用開口部は、相互に隣接して繰り返し配置される各デバイス作製領域の、ある繰り返しパターンごとの該デバイス作製領域そのものを、ダミー成長用開口部としたものである。

【0022】またこの発明は、上記垂直共振器型面発光レーザダイオードの製造方法において、上記選択成長用マスクに、各ダイオードのユニット幅に対する各矩形開口の寸法が異なり、各ダイオード毎の開口率が異なる複数の矩形開口を有するものを用いて、多波長のレーザ光を出力するダイオードのアレイ構造をモノリシックに作製してなる多波長面発光レーザダイオードアレイを製造するものである。

【0023】またこの発明は、上記面発光レーザダイオードの製造方法において、上記選択成長用マスクを形成する工程の前に、上記半導体基板上にあらかじめ選択エッチング可能な層を形成する工程と、上記選択成長用マスクを除去した後に、該マスク直下の選択エッチング可能なダメージを受けた層を選択エッチングにより除去する工程と、その後に上記半導体基板上に電流ブロック層、及びコンタクト層を形成する工程とを含むものである。

【0024】この発明にかかる埋込ヘテロ構造型の垂直共振器型半導体面発光レーザダイオードは、{100}面を有する半導体基板上に形成された、〈011〉方向、及び〈01/1〉方向の2辺をもつ矩形形状を底面とし、4つの{111} B面で囲まれ、頂上部が〈110〉方向の稜線にて終端する半導体層よりなるメサ部と、該メサ部の4つの{111} B面上には成長が行われず、上記{100}面を有する半導体基板上のみに形成された電流ブロック層、及びコンタクト層とを有するものである。

【0025】またこの発明は、上記面発光レーザダイオードにおいて、上記半導体層よりなるメサ部は、4つの{111} B面を有する、上記{100}面を有するGaAs半導体基板上に順次形成された、p型InPバッファ層、InGaAsP活性層、n型InP第1クラッド層、及びn型InP第2クラッド層よりなり、上記電流ブロック層、及びその上のコンタクト層は、n型InPブロック層、p型InPブロック層、n型InPコンタクト層であるものである。

【0026】またこの発明は、上記面発光レーザダイオードにおいて、上記半導体基板の裏面をエッチングして形成した開口の底面に形成された第1の誘電体反射膜と、上記半導体層よりなるメサ部上に成長した上記ブロック層、コンタクト層上に形成された第2の誘電体反射膜とを有するものである。

【0027】またこの発明は、上記面発光レーザダイオードにおいて、上記半導体基板と、上記メサ部の半導体層との間に形成された第1の半導体反射膜と、上記半導体層よりなるメサ部上に成長した上記ブロック層、コンタクト層上に形成された第2の半導体反射膜とを有するものである。

【0028】またこの発明は、上記垂直共振器型面発光レーザダイオードにおいて、複数の異なる波長のレーザ光をそれぞれ出力する複数のレーザダイオードが、アレ構造にモノリシックに作製されてなるものである。

【0029】またこの発明は、上記垂直共振器型面発光レーザダイオードにおいて、選択プレーテッドヒートシンク(PHS)構造を、活性層部の近傍に設けてなるものである。

【0030】またこの発明は、上記垂直共振器型面発光レーザダイオードにおいて、上記コンタクト層上にこれにつづいて成長された第2の半導体反射膜が、上記活性層に対向する側と反対側に凸となった凸状湾曲反射鏡形状に形成されてなるものである。

【0031】

【作用】この発明にかかる垂直共振器型の面発光レーザダイオードの製造方法においては、{100}面を有する半導体基板上に、〈011〉、及び〈01/1〉方向の2辺をもつ矩形開口を有する選択成長用マスクを形成する工程と、上記半導体基板上の上記選択成長用マスクの矩形開口上に、選択成長により、4つの{111}B面を有し、そのメサ部の頂上部が〈011〉方向の稜線にて終端するような、活性層を含む半導体層よりなるメサ部を形成する工程と、上記選択成長用マスクを除去する工程と、上記選択成長用マスクを除去して露出した上記半導体基板上に、電流ブロック層、及びコンタクト層を成長させ、その際上記半導体層よりなるメサ部の4つの{111}B面では結晶成長が停止するような成長を行わせる工程と、上記半導体基板に、その裏面よりエッチングを行って面発光出力の出力用の開口を形成する工程と、上記半導体基板の裏面上に一方の電極を形成する工程と、上記第1の反射膜に開口を形成し、露出した上記コンタクト層上に他方の電極を形成する工程とを含むものとしたから、選択MOCVD成長によってメサ構造を作製することにより、結晶の面方位によって規定された形状を安定して作ることができ、また埋込層もすべてMOCVD法により作製するから、メサ構造近傍の埋込形状も結晶の面方位依存性を利用することによって精密に制御することができ、以上の2点からメサ構造近傍で

の無効電流を抑制することができ、高性能の面発光レーザダイオードを得られる。

【0032】またこの発明においては、上記面発光レーザダイオードの製造方法において、上記半導体基板は、p型InP基板であり、上記選択成長用マスクの矩形開口に露出する上記半導体基板上に、メサ部となる活性層を含む半導体層を選択成長する工程は、p型InPバッファ層、InGaAsP活性層、n型InP第1クラッド層を選択成長するものであり、上記選択成長用マスクを除去して露出した上記基板上に、電流ブロック層、及びコンタクト層を成長させる工程は、n型InP、p型InPを順次成長させるものであり、その際上記バッファ層、活性層、第1クラッド層よりなるメサ部の4つの{111}B面ではInPの結晶成長が起こらず、上記基板上にn型InPブロック層が、上記メサ部の第1クラッド層上には断面三角形のn型InP第2クラッド層が成長し、かつ上記基板上のn型InPブロック層上にp型InPブロック層が成長するものとしたから、上記のように、選択MOCVD成長によるメサ構造の作製、及び埋込層のMOCVD法による作製を実現して、メサ構造及びメサ構造近傍の埋込形状の精密な制御を可能とでき、メサ構造近傍での無効電流を抑制した高性能の面発光レーザダイオードを作製できる。

【0033】またこの発明においては、上記面発光レーザダイオードの製造方法において、上記半導体基板上に選択成長マスク、及び選択成長層を形成する前に、エッチングストッパ層を形成するようにしたから、半導体基板裏面よりのエッチングを、精度よく、かつ容易に行うことができ、かつ高精度のレーザダイオードを得ることができる。

【0034】またこの発明においては、上記面発光レーザダイオードの製造方法において、上記電流ブロック層、及びコンタクト層を成長させた後、その上に第1の反射膜を形成し、上記半導体基板の裏面よりエッチングを行って開口を形成した後、その底面に第2の反射膜を形成することにより、垂直共振器型のレーザダイオードを得ることができる。

【0035】またこの発明においては、上記面発光レーザダイオードの製造方法において、垂直共振器を構成する第1、第2の反射膜を半導体反射膜により形成するから、半導体膜のエピ成長により該反射膜を形成でき、別途反射膜を形成する工程が不要となってその製造を容易にでき、かつその製造精度も向上することができる。

【0036】またこの発明においては、上記面発光レーザダイオードの製造方法において、上記選択成長用マスクに、デバイス作製領域の近傍にダミー成長用開口部を有するものを用いることにより、選択成長の際にマスク上にボリ結晶が付着することを抑制することができる。

【0037】またこの発明においては、上記面発光レーザダイオードの製造方法において、上記選択成長用マス

クのダミー成長用開口部を、相互に隣接して繰り返し配置される各デバイス作製領域の、ある繰り返しパターンごとの該デバイス作製領域そのものを、ダミー成長用開口部とすることにより、ダミー成長用開口部を容易に形成でき、かつ上記選択成長の際のマスク上へのポリ結晶の付着を確実に抑制することができる。

【0038】またこの発明においては、上記垂直共振器型面発光レーザダイオードの製造方法において、上記選択成長用マスクに各ダイオード毎の開口率が異なる複数の矩形開口を有するものを用いて、複数の一ザダイオードをアレイ構造をモノリシックに作製するようにしたので、モノリシック多波長面発光レーザダイオードアレイを容易に作製することができる。

【0039】またこの発明においては、上記面発光レーザダイオードの製造方法において、上記選択成長用マスクを形成する工程の前に、上記半導体基板上にあらかじめ選択エッチング可能な層を形成し、上記マスクを除去した後に該マスク直下のダメージ層を選択エッチングにより除去するようにしたので、該マスク直下のダメージを除去することができる。

【0040】この発明においては、埋め込みヘテロ構造型の垂直共振器型半導体面発光レーザダイオードにおいて、〔100〕面を有する半導体基板上に形成された、〈011〉方向、及び〈01/1〉方向の2辺をもつ矩形形状を底面とし、4つの〔111〕B面で囲まれ、頂上部が〈011〉方向の稜線にて終端する半導体層よりなるメサ部と、該メサ部の4つの〔111〕B面上には成長が行われず、上記〔100〕面を有する半導体基板上のみに形成された電流ブロック層、及びコンタクト層とを有するものとしたので、結晶の面方位によって規定される形状制御性の良いのメサ構造、及び、結晶の面方位依存性を利用して精密に制御されたメサの埋込形状を得ることができ、メサ構造近傍での無効電流が抑制された高性能の面発光レーザダイオードを得ることができる。

【0041】またこの発明においては、上記面発光レーザダイオードにおいて、上記半導体層よりなるメサ部は、4つの〔111〕B面を有する、上記〔100〕面を有するGaAs半導体基板上に順次形成された、p型InPバッファ層、InGaAsP活性層、n型InP第1クラッド層、及びn型InP第2クラッド層よりなり、上記電流ブロック層、及びその上のコンタクト層は、n型InPブロック層、p型InPブロック層、n型InPコンタクト層であるものとしたので、上記メサ構造近傍での無効電流が抑制された高性能の面発光レーザダイオードを実現することができる。

【0042】またこの発明においては、上記面発光レーザダイオードにおいて、上記半導体基板の裏面をエッチングして形成した開口の底面に形成された第1の誘電体反射膜と、上記半導体層よりなるメサ部上に成長した上

記ブロック層、コンタクト層上に形成された第2の誘電体反射膜とを有するものとしたので、垂直共振器型のレーザダイオードを構成することができる。

【0043】またこの発明においては、上記面発光レーザダイオードにおいて、上記半導体基板と、上記メサ部の半導体層との間に形成された第1の半導体反射膜と、上記半導体層よりなるメサ部上に成長した上記ブロック層、コンタクト層上に形成された第2の半導体反射膜とを、さらに有するものとしたので、その製造精度の向上した面発光レーザダイオードを得ることができる。

【0044】この発明においては、上記面発光レーザダイオードにおいて、複数の異なる波長のレーザ光をそれぞれ出力する複数のレーザダイオードが、アレイ構造にモノリシックに作製されてなるものとしたので、モノリシック多波長面発光レーザダイオードアレイを構成することができる。

【0045】またこの発明においては、上記面発光レーザダイオードにおいて、選択プレーテッドヒートシンク(PHS)構造を活性層下、あるいは該活性層下の近傍に設けてなるものとしたので、活性層から下方への放熱性を向上でき、本面発光レーザダイオードのデバイス特性を大きく改善することができる。

【0046】またこの発明においては、上記面発光レーザダイオードにおいて、第1の半導体反射膜を凸状湾曲反射鏡形状を有するものとしたので、活性層の光の共振器内への閉じ込めを効率よく行うことができ、レーザ特性を大きく改善することができる。

【0047】

【実施例】

実施例1. 以下、この発明の一実施例を図について説明する。図1はこの発明の第1の実施例による面発光レーザダイオードの製造方法により作製された面発光レーザダイオードを示し、図1(a)は〔011〕方向〔これと等価な方向をすべて総称すると、〈011〉方向〕の断面模式図、図1(b)は〔01/1〕方向〔総称して、〈01/1〉方向〕の断面模式図である。図1において、1はp型InP基板、2は該p型InP基板1上に配置されたp型InPバッファ層、3は該p型InPバッファ層2上に配置されたInGaAsP(In0.57Ga0.43As0.93P0.07)活性層であり、その発振波長は1.55μmである。なお、これは単層ではなく、例えば、5層のIn0.53Ga0.47Asウェル層(厚み約80オングストローム)と、6層のIn0.71Ga0.29As0.63P0.37バリア層(厚み約100オングストローム)からなる量子井戸構造層からなるものとしてもよい。また、4および6は、上記InGaAsP活性層3上に配置されたn型InPクラッド層、30は上記p型InPバッファ層2、InGaAsP活性層3、及びn型InPクラッド層4、6からなる三角形形状部、5は三角形形状部30の上記p型InPバッファ層2を両側から挟んで

上記p型InP基板1上に配置されたn型InPブロック層、7は上記三角形形状部30の上記p型InPバッファ層2、上記活性層3、及び上記n型InPクラッド層4を両側からはさんで上記n型InPブロック層5上に配置されたp型InPブロック層であり、このp型InPブロック層7は、上記n型InPクラッド層6の図1(b)の左右の傾斜面上にも形成されている。8は上記三角形形状部30の上記n型InPクラッド層4、6を挟み、且つこれを覆うよう、上記p型InPブロック層7上に配置されたn型InPコンタクト層である。

【0048】以下、本実施例の面発光レーザダイオードの作製手順を、図2、図3を用いて説明する。ここで、図2は〈011〉方向の断面模式図、図3は〈01/1〉方向の断面模式図である。

【0049】まず、図2(a)、図3(a)に示すように、(100)面〔総称して、{100}面〕を有する、不純物濃度 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のp型InP基板1上に、[011]方向〔総称して、〈011〉方向〕、及び[01/1]方向〔総称して、〈01/1〉方向〕にそれぞれ約 $3.5 \mu\text{m}$ の矩形開口部10〔図中、各[011]方向、[01/1]方向の開口寸法を10a、10bとしている〕を有するSiO₂膜等の選択成長用マスク9を形成する。

【0050】次に、図2(b)、図3(b)に示すように、MOCVD(有機金属気相成長法、Metal Organic Chemical Vapor Deposition)法により、不純物濃度 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のp型InPバッファ層2を厚さ $1.2 \mu\text{m}$ 、InGaAsP活性層3を厚さ $0.1 \mu\text{m}$ 、不純物濃度 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のn型InPクラッド層4を厚さ $0.3 \mu\text{m}$ 、順次成長する。この場合の該活性層を含む半導体層の成長形態を示した斜視図を図4に示す。〈011〉方向、及び〈01/1〉方向にストライプ状に開口部を有する基板上にMOCVD法により結晶成長を行う場合、成長の進行に伴って(111)B面〔4面とも(111)B面を含むこれと等価な面であり、総称して、{111}B面〕が出現し、4面に{111}B面を有する半導体層が得られる。この{111}B面は非成長面とよばれ、この上には成長が起こりにくいことが知られている。従って、[011]方向の断面(図2)では(100)面、(111)B面で囲まれた台形形状が得られ、[01/1]方向の断面(図3)では(100)面、(111)B面、(111)A面で囲まれた六角形状が得られる。

【0051】次に選択成長用マスク9を除去した後、2回目のMOCVD成長により、図2(c)、図3(c)に示すように、不純物濃度 $7 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のn型InP層を厚さ約 $1 \mu\text{m}$ 成長する。これにより、p型InP基板1上ではn型InPブロック層5が成長し、上記n型InPクラッド層4上にはn型InPクラッド層6が成長するが、該n型InPブロック層5がn型InPクラッ

ド層4と接触しないようにn型InPブロック層5の厚さを設定する。また、(111)B面には成長が起こらないことから、[01/1]方向の断面では(100)面、(111)A面方向に成長が進み、n型InPブロック層6が形成されるが、[011]方向の断面では(111)B面で囲まれた三角形形状にn型InPクラッド層6の成長が進み、そのメサ部の頂上部に[011]方向〔総称して、〈011〉方向〕の稜線が形成された時点で成長は停止する。なお、ここで、n型InPクラッド層6の厚みがより厚いときには、n型InPクラッド層6のみでメサ部の頂上部に[0/1/1]方向〔〈011〉方向〕の稜線が形成されることとなるが、該層6の厚みが上記したような厚みの場合は、図1(b)の左右両端では、該n型InPクラッド層6の頂上面がすべて[0/1/1]方向〔〈011〉方向〕の稜線になるのではなく、その図2の左右両端に(111)A面が残ることとなる。

【0052】ここで、該半導体層の成長においては、その選択成長マスク9としては、図8に示すものを使用する。即ち、図8において、12は選択成長用のマスク部、13は該マスク部12内に形成されたレーザ能動層成長用開口部、14aはダミー層成長用開口部であり、本実施例1において用いる選択成長用マスク100は、図8(a)に示すように、レーザチップの各デバイス形成領域D内に、即ち、各デバイス形成領域Dの4つの角に $50 \mu\text{m}$ 四方のダミー層成長用開口部14aを設けたものである。上記選択成長用マスク100の選択成長用マスク部12の開口部13は、約 $3.5 \mu\text{m}$ の矩形であり、単体レーザ1チップの幅を約 $300 \mu\text{m}$ とすると、上記開口部13のみを有する選択成長マスクを用いた場合には、基板1の大部分が該マスクで覆われることとなり、このため、選択成長の際に該マスク上にポリ結晶が析出し、マスクを除去できなくなるという問題が発生する。しかるに、上記選択成長マスク100においては、このポリ結晶をダミー層成長用開口部14a上にも成長させることにより、マスク上にポリ結晶が析出するのを抑制することができ、歩留まりがよくなるという効果が得られる。

【0053】なおこれは、図8(b)の選択成長マスク200のように、上記デバイス形成領域Dの一辺に、幅 $50 \sim 100 \mu\text{m}$ のストライプ状のダミー層成長用開口部14bを設けるようにしてもよい。

【0054】続いて、図2(d)、図3(d)に示すように、不純物濃度 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のp型InPブロック層7を厚さ約 $0.5 \mu\text{m}$ 、不純物濃度 $7 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のn型InPコンタクト層8を厚さ約 $2 \mu\text{m}$ 成長して、結晶成長工程を完了する。この際、図3(d)に示すように、上記n型InPクラッド層6の{111}A面上には、p型InPクラッド層7が、その上面がn型InPクラッド層6の{100}面と面一になるように形成さ

れる。

【0055】その後、図5(a)に〈011〉方向からみた断面形状を示すように、基板1の裏面側より、該基板のInPを、HCl:H₂O=1:1のエッチング液を用いて、例えば10分程度の時間エッチングを行い、半径50μm、深さ約100μmの円形状の開口を形成した後に、該開口の底面にp型層側の、例えばSiO₂（膜厚0.27μm）とSi（膜厚0.12μm）を4層ずつ交互に積層してなる、第1の誘電体多層反射膜16を、また、リング状の開口部17aを有するn型側層の、同じく、SiO₂（膜厚0.27μm）とSi（膜厚0.12μm）を4層ずつ交互に積層してなる、第2の誘電体多層反射膜17を作製し、最後に、p側電極15、及びn側電極18を形成して、垂直共振器型面発光LEDを作製することができる。

【0056】次に本実施例1の装置の作用について説明する。本実施例1の垂直共振器型面発光LEDにおいて、活性層近傍を流れる無効電流は、n型InPクラッド層4とn型InPブロック層5との位置関係で決まる。図15(a)に〈011〉方向からみた断面形状を示すように、n型InPクラッド層4とn型InPブロック層5とが接触している場合は、n型InPはp型InPと比べて比抵抗値が低いために電流が流れやすく、第1の無効電流I₁が発生する。また、図15(b)に示すように、n型InPクラッド層4とn型InPブロック層5とが大きく離れている場合は、そのすきま、即ちリークパスを通して第2の無効電流I₂が発生する。したがって、n型InPクラッド層4とn型InPブロック層5との位置関係は接触しないで、かつ狭くする必要がある。この位置関係は、活性層を含む能動層のメサ形状と、電流ブロック層の埋め込み形状の両方に依存している。

【0057】このような本実施例1の方法においては、活性層を含む能動層のメサ形状を作製するにおいて、ウェットエッチングを用いるのではなく、MOCVD選択成長法を用いるようにしているため、該活性層を含む能動層のメサ形状は、結晶の面方位と、成長膜厚とによって規定され、その製造ばらつきを小さくすることができる。また、上記活性層を含む能動層を電流ブロック層により埋め込む埋め込み形状についても、LPE法（液相エピタキシャル法、Liquid Phase Epitaxy）ではなく、MOCVD法（有機金属気相成長法）を用いているため、優れた制御性が得られる。従って、これら2つのことから、電流のリークパスの狭い構造を、歩留まりよく作製することが可能となる。この際、選択成長の開口部の形状、および電流ブロック層の膜厚をうまく組み合わせることが重要であり、本発明においては、成長が起らない{111}B面の出現を利用して、活性層のまわりを制御性よく電流ブロック層で埋め込むようにすることにより、上記のようにリークパスの狭い構造を歩留ま

りよく作製することが可能となるものである。

【0058】またさらに、本実施例においては、選択成長マスクに、デバイス形成領域の近傍に、上記メサ部を形成する活性層を含む半導体層をダミー成長させるためのダミー成長用開口部を有するものを用いることにより、マスク上にポリ結晶が析出するのを抑制することができ、さらに歩留まりを向上することができるものである。

【0059】なお、特開平5-167184号公報には、(100)面方位を有するn型InP基板上に、〈011〉方向に開口を有する選択マスクを形成し、これを選択成長マスクとして、上記開口の基板上にバッファ層、活性層、クラッド層を選択的に形成し、先端が鋭角となる3角形状の半導体層を形成することが記載されており、また、特開平4-322486号公報には、(100)結晶面よりなる主面に対しエッチングを行って〈011〉方向に沿って延びるストライプ状メサ突起を形成し、このメサ突起の上にMOCVD法によりバッファ層、クラッド層、活性層、上クラッド層を含む半導体層を形成することにより、上記メサ突起上では、(100)面と55°の角度をなす(111)B面が生じて断面3角形状のエピタキシャル成長層が形成されるようにすることが記載されている。

【0060】しかるに、これらに対して本発明は、〈011〉方向、及び〈011〉方向の2辺をもつ矩形開口部上に、選択成長によりメサ部を形成することにより、メサ側面の4面をすべて、4つの{111}B面よりなる非成長面のみで形成できることを特徴としており、これによりその後成長する電流ブロック層、及びコンタクト層の形状制御性を従来より大きく改善することが可能となるもので、上記2つの公報に記載のもののように単に、断面3角形状のエピタキシャル成長層を選択成長により形成する点を特徴としているものとは大きく異なるものである。

【0061】なお、上記実施例1では単体のレーザについて示したが、本実施例は、1次元および2次元レーザアレイを作製する場合にも用いることができる。

【0062】実施例2. 上記実施例1においては、半導体基板1の裏面からのエッチングは、所定の時間これを行うことにより、所要の深さが得られるようにしたが、本発明の第2の実施例は、このエッチング形状の制御をより容易に行うことができるようにしたものである。

【0063】図6はこのようにした本発明の第2の実施例による面発光レーザダイオードの製造方法により製造される面発光レーザダイオードを示し、図において、19は選択成長用マスク9を形成する前に、上記p型InP基板1上に形成されたp型InGaAsP(In_{0.71}Ga_{0.29}As_{0.63}P_{0.37})エッチングストップ層であり、その中央部が除去されて、上記p型InPバッファ層2の裏面に第1の誘電体多層反射膜16を形成されて

いる。

【0064】本実施例2による面発光レーザダイオードの製造方法は、上記基板1側よりの円形形状のエッチング形状を制御しやすくするために、選択成長用マスク9を形成する前に、上記p型InP基板1上にp型InGaAsPエッチングストップ層19を形成しておくようにしたもので、その後、上記選択成長用マスク9の矩形開口10への上記半導体層の選択成長を行うことにより、上記p型InP基板1と、上記p型InPバッファ層2、InGaAsP活性層3、及びn型InPクラッド層4、6よりなる三角形のメサ部との間に、該p型InGaAsPエッチングストップ層19を有する構造が得られる。

【0065】従って、かかる本実施例2では、上記と同様、上記層2、3、4、6よりなる〈011〉方向の断面が三角形のメサ部を形成し、さらにその上にp型InPブロック層7、及びn型InPコンタクト層8を成長して、上記メサ構造を埋め込んだ後、基板1の裏面側より、HC1:H2O=1:1のエッチング液を用いて、基板1側より円形形状にInPの選択エッチングを行って、p型InGaAsPエッチングストップ層19を露出させ、次に、該露出したp型InGaAsPエッチングストップ層19を濃硝酸を用いて除去し、その後、該エッチングストップ層19が除去された上記p型InPバッファ層3の露出した裏面に、上記実施例1と同様の構成の、第1の誘電体多層反射膜16を形成する。

【0066】このような本実施例2では、選択成長用マスクを形成する前に、p型InP基板1上にp型InGaAsPエッチングストップ層19を挿入しておくようにしたので、p型InP基板1の裏面よりの、面発光出力用開口形成のためのエッチング形状の制御を非常に容易に行うことができ、かつ第1の誘電体多層反射膜の形成位置を高精度にできることから、高精度の面発光レーザダイオードを得られる効果がある。

【0067】なお、上記実施例1、2では、p型InP基板を用いた場合について示したが、これはn型InP基板を用いてもよく、この場合には上記実施例のpとnとを逆にすればよい。但し、n型InPクラッド層6と、n型InPブロック層5とが接触しないように膜厚を変更することが必要となる。

【0068】実施例3。また、上記実施例1、2では、垂直型共振器を、誘電体多層反射鏡16、17を用いて作製したが、これは、2枚の半導体多層反射膜を用いて構成するようにしてもよい。

【0069】本発明の第3の実施例は、このような2枚の半導体多層反射膜を用いて垂直型共振器を構成した、垂直共振器型面発光レーザダイオードであり、図7にその〈011〉方向からみた断面形状を示す。図7において、20は、上記p型InP基板1上に、選択成長用マ

スク9を形成する前に、第1の半導体多層反射膜、21は、上記n型InPコンタクト層8上に形成した第2の半導体多層反射膜である。これらの半導体多層反射膜(DBR層、Distributed Bragg Reflector 層)としては、それぞれ $\lambda/4$ 厚のInPと、バンドギャップ波長が $1.4\mu\text{m}$ のInGaAsP(In0.71Ga0.29As0.63P0.37)とを20周期積層したものをを用い、第1の半導体多層反射膜20にはp型のドーピング(不純物濃度 $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)を、第2の半導体多層反射膜21にはn型のドーピング(不純物濃度 $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)を行っている。これらのDBR層20、21の反射率は約96%である。

【0070】このような本実施例3の方法においては、上記実施例1と同様、活性層を含む能動層のメサ形状の作製には、ウェットエッチングを用いずにMOCVD選択成長法を用いていることにより、該活性層を含む能動層のメサ形状におけるばらつきを小さくできるとともに、電流ブロック層の埋め込み形状についてもMOCVD法を用いていることにより優れた制御性をもって形成でき、これらにより電流リークパスの狭い構造を歩留まりよく作製することが可能となる効果が得られる。またこれに加えて、垂直型共振器を構成する反射鏡を、2枚の半導体多層反射膜を用いて構成したことにより、これらの膜を第1回目、第2回目のMOCVD法により各複数の半導体層の成長と同時に形成でき、別途の多層反射膜の形成を必要としないため、製造プロセスをより容易とできる効果がある。

【0071】実施例4。上記実施例1による選択成長用マスクでは、レーザチップの各デバイス形成領域D内に、ダミー層成長用開口部を設けるようにしたが、本発明の第4の実施例は、これを相互に隣接するよう繰り返して配置された各デバイス作製領域の、ある繰り返し毎の領域を、上記ダミー層成長用開口部としたものである。

【0072】即ち、図9(a)は、基板上に作製した本実施例4による選択成長用マスク300を基板に垂直な方向から見た図であり、図9(b)は、図9(a)中のA-A'の断面図である。図9において、300は本発明の第4の実施例による選択成長マスクであり、これは、図8に示す上記実施例1における選択成長マスク100におけるデバイス作製領域Dのうち、隣接する1チップ毎のデバイス作製領域D1、D4を実際のデバイス形成領域とするとともに、これと交互に位置するデバイス形成領域D2、D3については、これをダミー層成長用開口部14としたものである。

【0073】ここで、該ダミー成長用開口部14の繰り返しは、2チップおき毎、あるいは3チップおき毎としてもよく、ポリ結晶が析出するのを抑制する効果と、デバイスの収率との両方を考慮に入れて決定すればよいものである。

【0074】このような本実施例4の面発光レーザダイオードの製造方法においては、選択成長マスクとして、相互に隣接するよう繰り返して配置された各デバイス作製領域の、ある繰り返しのデバイス作製領域毎に、これを上記ダミー層成長用開口部としたものを用いたので、該マスク上にポリ結晶が析出するのを抑制できる選択成長マスクを容易に作製でき、製造歩留りを向上することができる効果が得られる。

【0075】実施例5. 以下、この発明の第5の実施例による多波長面発光LDアレイの製造方法を図について説明する。図10(a)は、本発明の第5の実施例による多波長面発光LDアレイの製造方法における工程を、
(011)方向からみた断面形状を示すものであり、以下これを用いて本実施例5の多波長面発光LDアレイの製造方法について説明する。

【0076】図10(a)において、aは、この多波長面発光LDアレイの、アレイのユニットの幅を示し、本実施例では、各アレイのユニットの幅は300 μ mの同一寸法とし、選択成長用マスク9として、矩形開口部の幅が、 $b1 < b2 < b3$ (それぞれ、3.0 μ m、3.5 μ m、4.0 μ m)となるように、半導体基板1上に該選択成長用マスク9を形成している。

【0077】次に、MOCVD法により、上記半導体基板1上の幅、 $b1 < b2 < b3$ の各マスク開口部上に、p型InPバッファ層2、InGaAs活性層3、n型InPクラッド層4を順次成長する。この場合、選択成長用マスクの、マスク開口部幅/ユニットの幅で表される開口率によって、マスク開口部上への成長速度が変化するものであり、該開口率によって活性層等の層厚が変化する。即ち、矩形開口部幅が $b2$ である図示中央部においては、各層2、3、4の層厚は、1.2 μ m、0.1 μ m、0.3 μ mであるのに対し、矩形開口部幅が $b2$ より小さい $b1$ である図示左側のチップでは、各層2、3、4の層厚は、1.32 μ m、0.11 μ m、0.33 μ mと厚くなり、また矩形開口部幅が $b2$ より大きい $b3$ である図示右側のチップでは、各層2、3、4の層厚は、1.08 μ m、0.09 μ m、0.27 μ mと薄くなる。

【0078】そしてその結果、各チップの発振波長は、中央(矩形開口部幅 $b2$)が1.55 μ mであるのに対し、図示左側(矩形開口部幅 $b1$)は1.56 μ m、図示右側(矩形開口部幅 $b3$)は1.54 μ mとなる。このように、上記開口率の小さい $b1$ では、 $b2$ と比較してウェル層厚が厚くなり、これにより、活性層のフォトルミネッセンス(PL)波長が長くなり、開口率の大きい $b3$ では、ウェル層厚が薄く、かつPL波長が短くなるもので、かつこの際、各開口部での活性層と基板との間の距離が変わるものであるため、その製造に際しては、図10(b)に示すように、n型InPブロック層5がすべてのアレイに対してn型InPクラッド層4と接

触しないように、n型InPブロック層5の層厚を決める必要がある。

【0079】このように本実施例5による多波長面発光LDアレイの製造方法においては、多波長面発光LDアレイの、アレイのユニットの幅を同一寸法とし、選択成長用マスク9の開口部の幅を、 $b1 < b2 < b3$ とし、その上にMOCVD法により、p型InPバッファ層2、InGaAs活性層3、n型InPクラッド層4を順次成長することにより、選択成長用マスクの開口率によって該開口部上への成長速度、ひいてはウェル層厚が変化することを利用して、各活性層の発光波長を変えるようにしたので、多波長面発光レーザダイオードアレイを容易に製造することができる効果がある。

【0080】なお上記実施例5では、アレイのユニット幅を一定とし選択成長マスクの開口部幅を変えることにより、開口率を変化させるようにしたが、これは、図10に示すように、選択成長マスクの開口部幅 b を一定とし、アレイのユニット幅 $a1$ 、 $a2$ 、 $a3$ を変化させることにより開口率を変えるようにしてもよい。

【0081】即ち、図11において、アレイのユニット幅 $a1$ 、 $a2$ 、 $a3$ は、それぞれ270 μ m、300 μ m、330 μ mであり、選択成長マスクの開口部幅 b は3.5 μ mの一定であり、このとき形成される各層の層厚は、図示左側のチップ(ユニット幅 $a1$)では、各層2、3、4のそれぞれが、1.08 μ m、0.09 μ m、0.27 μ mと薄くなり、図示中央のチップ(ユニット幅 $a2$)では、それぞれ上記と同様、1.2 μ m、0.1 μ m、0.3 μ mであり、図示右側のチップ(ユニット幅 $a3$)では、それぞれ、1.32 μ m、0.11 μ m、0.33 μ mと厚くなり、その結果、各チップの発振波長は、中央が1.55 μ mであるのに対し、図示左側は1.56 μ m、図示右側は1.54 μ mとなるものである。

【0082】実施例6. 以下、この発明の第6の実施例による面発光LDの作製方法について説明する。図12は、この発明の第6の実施例による面発光LDの作製方法を示し、該作製方法における(011)方向からみた各断面形状を示すものである。

【0083】以下、本実施例6の作製方法について説明する。まず、p型InP基板1上に、活性層のエネルギーギャップより大きいエネルギーギャップを有するp型InGaAsP層22を厚さ0.1 μ m成長し、その後を選択成長用マスク9を形成する。

【0084】次に、p型InPバッファ層2、InGaAsP活性層3、n型InPクラッド層4を順次成長する。

【0085】次に、上記選択成長用マスク9を除去した後で、上記と同様、濃硝酸を用いた選択エッチングにより、該マスク下に位置していたp型InGaAsP層22を除去する。その後の成長は上記実施例1と同様にし

て行う。

【0086】このような本実施例6による面発光レーザダイオードの製造方法においては、上記実施例1の面発光レーザダイオードの製造方法において、選択成長用マスク9をp型InP基板1上に形成する前に、該両者間に、活性層のエネルギギャップより大きいエネルギギャップを有する、選択エッチングが可能なp型InGaAsP層22を挿入しておくようにしたため、該選択成長用マスク9の除去後に上記基板1上に半導体層5、7、8を形成する際に、該マスク9の直下の、上記選択エッチングが可能な層からなり、ダメージを受けた層を除去することができる。従って、該ダメージ層に起因する、該面発光レーザダイオードにおける無効電流を低減することができ、特性の良い面発光レーザダイオードを得られる効果がある。

【0087】実施例7. 次に、この発明の選択プレーテッドヒートシンク(PHS)構造付き面発光LDの一実施例を図について説明する。図13(a)は、本発明の第7の実施例による選択PHS構造付き面発光LDを示すものであり、この図12(a)は該PHS構造付き面発光LDの〈011〉方向からみた断面形状を示す。

【0088】図13(a)において、23はp型InP基板1を裏面からエッチングして凹部26を形成し、その凹部26の内面上に沿って形成したp側オーミック電極、24はそのp側オーミック電極23を形成した上記凹部26内に形成したAu等よりなるPHS電極である。ここで、該PHS電極24の大きさとしては、図13(a)のチップの横幅が300 μ mであるものにおいて、該電極24の底面の長さが200 μ m、その上面の長さが150 μ mぐらいのものが一例として上げられるが、これは図示の2、3、4、6の層からなる3角形状の部分の底面が3.5 μ mであるので、これに対して十分大きい大きさであればよいものである。

【0089】本実施例7におけるPHS電極構造は、活性層3下の基板1を、上記半導体多層反射膜20をエッチングストッパ層としてエッチングにより除去し、その凹部26の内面にp側オーミック電極23を形成し、かつ該凹部16内にPHS電極24を形成することによって得られる。このPHS構造によれば、該PHS電極24により活性層3部分の下方への放熱性を向上することができ、これにより本面発光LDのデバイス特性を大きく改善することができる。

【0090】なお本実施例7においては、活性層3下にPHS構造24を形成するようにしたが、これは、図13(b)に示すように、2回のドライエッチングにより、活性層3下部に位置する凹部26に連続して、該活性層3下の両横の部分にさらに凹部27a、27bが位置し、この3つの凹部内に相連続したPHS構造24を形成するようにしてもよい。ただし、この場合は、電流ブロック層5、7が上記PHS電極24と短絡しないよう

に、上記両側の凹部27a、27b内において、上記p型オーミック電極23と、上記各半導体基板あるいは層との間に、SiO₂膜等の絶縁膜25を挿入することが必要となる。

【0091】なお、上記PHS電極24bの寸法としては、例えば、下底が200~250 μ m、上底が100~150 μ m、左右の突出部分の直径が50 μ mのものが考えられる。

【0092】実施例8. 以下、この発明の第8の実施例による面発光LDについて説明する。図14はこの発明の第8の実施例による面発光LDを〈011〉方向からみた断面形状を示すものである。

【0093】図14において、図7と同一符号は同一または相当部分を示し、23は、n型InPコンタクト層8の層厚と、その成長条件とを適当に選ぶことにより、上記実施例3におけると同様、活性層3の上部にある上記第2の半導体多層反射膜21の一部を、例えば約50 μ mの曲率半径を持つ、上記活性層3に対向する側と反対側に凸である凸状湾曲反射鏡形状部28として形成するようにしたものである。

【0094】従って、本実施例8の面発光レーザダイオードでは、このように活性層3の上部の第2の半導体多層反射膜21の一部に凸状湾曲形状部28を形成して、共振器の反射鏡が湾曲するものとしたので、該湾曲した反射鏡により活性層3の光を効率よく共振器内に閉じ込めることができ、レーザ特性を大きく改善することができる効果が得られる。

【0095】

【発明の効果】以上のようにこの発明にかかる垂直共振器型の面発光レーザダイオードの製造方法によれば、

{100}面を有する半導体基板上に、〈011〉方向、及び〈01/1〉方向の2辺をもつ矩形開口を有する選択成長用マスクを形成する工程と、上記半導体基板上の上記選択成長用マスクの矩形開口上に、選択成長により、4つの{111}B面を有し、そのメサ部の頂上部が〈011〉方向の稜線にて終端するような、活性層を含む半導体層よりなるメサ部を形成する工程と、上記選択成長用マスクを除去する工程と、上記選択成長用マスクを除去して露出した上記半導体基板上に、電流ブロック層、及びコンタクト層を成長させ、その際上記半導体層よりなるメサ部の4つの{111}B面では結晶成長が停止するような成長を行わせる工程と、上記半導体基板上に、その裏面よりエッチングを行って面発光出力の出力用の開口を形成する工程と、上記半導体基板の裏面上に一方の電極を形成する工程と、上記第1の反射膜に開口を形成し、露出した上記コンタクト層上に他方の電極を形成する工程とを含むものとしたので、選択MOCVD成長によってメサ構造を作製することにより、結晶の面方位によって規定された形状を安定して作ることができ、また埋込層もすべてMOCVD法により作製する

から、メサ構造近傍の埋込形状も結晶の面方位依存性を利用することによって精密に制御することができ、以上の2点からメサ構造近傍での無効電流を抑制することができ、低しきい値で高性能の面発光レーザダイオードを得られる効果がある。

【0096】またこの発明によれば、上記面発光レーザダイオードの製造方法において、上記半導体基板は、p型InP基板であり、上記選択成長用マスクの矩形開口に露出する上記半導体基板上に、メサ部となる活性層を含む半導体層を選択成長する工程は、p型InPバッファ層、InGaAsP活性層、n型InP第1クラッド層を選択成長するものであり、上記選択成長用マスクを除去して露出した上記基板上に、電流ブロック層、及びコンタクト層を成長させる工程は、n型InP、p型InPを順次成長させるものであり、その際上記バッファ層、活性層、第1クラッド層よりなるメサ部の4つの【111】B面ではInPの結晶成長が起こらず、上記基板上にn型InPブロック層が、上記メサ部の第1クラッド層上には断面三角形のn型InP第2クラッド層が成長し、かつ上記基板上のn型InPブロック層上にp型InPブロック層が成長するものとしたので、上記のように、選択MOCVD成長によるメサ構造の作製、及び埋込層のMOCVD法による作製を実現して、メサ構造及びメサ構造近傍の埋込形状の精密な制御が可能とでき、メサ構造近傍での無効電流を抑制した高性能の面発光レーザダイオードを作製できる効果が得られる。

【0097】またこの発明によれば、上記面発光レーザダイオードの製造方法において、上記半導体基板上に選択成長マスク、及び選択成長層を形成する前に、エッチングストッパ層を形成するようにしたので、半導体基板裏面よりのエッチングを、精度よく、かつ容易に行うことができ、かつ高精度のレーザダイオードを作製できる効果が得られる。

【0098】またこの発明によれば、上記面発光レーザダイオードの製造方法において、上記電流ブロック層、及びコンタクト層を成長させた後、その上に第1の反射膜を形成し、上記半導体基板の裏面よりエッチングを行って開口を形成した後、その底面に第2の反射膜を形成することにより、垂直共振器型の面発光レーザダイオードを作製できる効果が得られる。

【0099】またこの発明によれば、上記面発光レーザダイオードの製造方法において、垂直共振器を構成する第1、第2の反射膜を半導体反射膜により形成するようにしたので、半導体膜のエピ成長により該反射膜を形成でき、別途反射膜を形成する工程が不要となってその製造を容易にでき、かつその精度も向上できる効果が得られる。

【0100】またこの発明によれば、上記面発光レーザダイオードの製造方法において、上記選択成長用マスク

に、デバイス作製領域の近傍にダミー成長用開口部を有するものを用いたので、選択成長の際にマスク上にポリ結晶が付着することを抑制することができる効果が得られる。

【0101】またこの発明によれば、上記面発光レーザダイオードの製造方法において、上記選択成長用マスクのダミー成長用開口部を、相互に隣接して繰り返し配置される各デバイス作製領域の、ある繰り返しパターンごとの該デバイス作製領域そのものを、ダミー成長用開口部としたので、ダミー成長用開口部を容易に形成でき、かつ上記選択成長の際のマスク上へのポリ結晶の付着を確実に抑制することができる効果が得られる。

【0102】またこの発明によれば、上記垂直共振器型面発光レーザダイオードの製造方法において、上記選択成長用マスクに各ダイオード毎の開口率が異なる複数の矩形開口を有するものを用いて、複数のレーザダイオードをアレイ構造をモノリシックに作製するようにしたので、モノリシック多波長面発光レーザダイオードアレイを容易に作製できる効果が得られる。

【0103】またこの発明によれば、上記面発光レーザダイオードの製造方法において、上記選択成長用マスクを形成する工程の前に、上記半導体基板上にあらかじめ選択エッチング可能な層を形成し、上記マスクを除去した後該マスク直下のダメージ層を選択エッチングにより除去するようにしたので、該マスク直下のダメージを除去することができる効果が得られる。

【0104】またこの発明にかかる埋め込みヘテロ構造型の垂直共振器型半導体面発光レーザダイオードによれば、【100】面を有する半導体基板上に形成された、〈011〉方向、及び〈01/1〉方向の2辺をもつ矩形形状を底面とし、4つの【111】B面で囲まれ、頂上部が〈011〉方向の稜線にて終端する半導体層よりなるメサ部と、該メサ部の4つの【111】B面上には成長が行われず、上記【100】面を有する半導体基板の上にのみ形成された電流ブロック層、及びコンタクト層とを有するものとしたので、結晶の面方位によって規定される形状制御性の良いメサ構造、及び、結晶の面方位依存性を利用して精密に制御されたメサ構造の埋込形状を得ることができ、メサ構造近傍での無効電流が抑制された、高性能の面発光レーザダイオードを得られる効果がある。

【0105】またこの発明によれば、上記面発光レーザダイオードにおいて、上記半導体層よりなるメサ部は、4つの【111】B面を有する、上記【100】面を有するp型InP半導体基板上に順次形成された、p型InPバッファ層、InGaAsP活性層、n型InP第1クラッド層、及びn型InP第2クラッド層よりなり、上記電流ブロック層、及びその上のコンタクト層は、n型InPブロック層、p型InPブロック層、n型InPコンタクト層であるものとしたので、上記メサ

構造近傍での無効電流が抑制された、高性能の面発光レーザダイオードを実現できる効果が得られる。

【0106】またこの発明によれば、上記面発光レーザダイオードにおいて、上記半導体基板の裏面をエッチングして形成した開口の底面に形成された第1の誘電体反射膜と、上記半導体層よりなるメサ部上に成長した上記ブロック層、コンタクト層上に形成された第2の誘電体反射膜とを有するものとしたので、垂直共振器型のレーザダイオードを構成できる効果が得られる。

【0107】またこの発明によれば、上記面発光レーザダイオードにおいて、上記半導体基板と、上記メサ部の半導体層との間に形成された第1の半導体反射膜と、上記半導体層よりなるメサ部上に成長した上記ブロック層、コンタクト層上に形成された第2の半導体反射膜とを、さらに有するものとしたので、その製造精度の向上した面発光レーザダイオードを得られる効果がある。

【0108】この発明によれば、上記面発光レーザダイオードにおいて、複数の異なる波長のレーザ光をそれぞれ出力する複数のレーザダイオードが、アレイ構造にモノリシックに作製されてなるものとしたので、モノリシック多波長面発光レーザダイオードアレイを構成できる効果が得られる。

【0109】またこの発明によれば、上記垂直共振器型面発光レーザダイオードにおいて、選択プレーテッドヒートシンク（PHS）構造を活性層下、あるいは該活性層下の近傍に設けたので、活性層から下方への放熱性を向上でき、本面発光レーザダイオードのデバイス特性を大きく改善できる効果が得られる。

【0110】またこの発明によれば、上記垂直共振器型の面発光レーザダイオードにおいて、第1の半導体反射膜を凸状湾曲反射鏡形状を有するものとしたので、活性層の光の共振器内への閉じ込めを効率よく行うことができ、レーザ特性を大きく改善できる効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の第1の実施例による面発光レーザダイオードの製造方法により製造される面発光LDの結晶構造の<011>方向の断面、及び<011>/1方向の断面を示す断面模式図である。

【図2】 この発明の実施例1による面発光レーザダイオードの製造方法の各工程における<011>方向の断面形状を示す断面模式図である。

【図3】 この発明の実施例1による面発光レーザダイオードの製造方法の各工程における<011>/1方向の断面形状を示す断面模式図である。

【図4】 この発明の実施例1による面発光レーザダイオードの製造方法により製造される面発光LDの活性層を含む半導体層の成長形態を示す斜視図である。

【図5】 この発明の実施例1による面発光レーザダイオードの製造方法により製造される面発光LDを示す斜

視図である。

【図6】 この発明の実施例2による面発光レーザダイオードの製造方法により製造される面発光LDを示す斜視図である。

【図7】 この発明の実施例3による面発光レーザダイオードの製造方法により製造される面発光LDを示す断面模式図である。

【図8】 この発明の実施例1による面発光レーザダイオードの製造方法において用いる選択成長用マスク、及びその変形例の形状を示す平面図である。

【図9】 この発明の実施例4による面発光レーザダイオードの製造方法において用いる選択成長用マスクの形状を示す平面図、及び断面模式図である。

【図10】 この発明の実施例5による面発光レーザダイオードの製造方法により製造される多波長面発光LDアレイの製造工程を示す断面模式図である。

【図11】 この発明の実施例5による面発光レーザダイオードの製造方法の変形例により製造される多波長面発光LDアレイの製造工程における断面を示す断面模式図である。

【図12】 この発明の実施例6による面発光レーザダイオードの製造方法各工程における<011>方向の断面形状を示す断面模式図である。

【図13】 この発明の実施例7、及びその変形例による面発光レーザダイオードの製造方法により製造される面発光LDの<011>方向の断面形状をそれぞれ示す断面模式図である。

【図14】 この発明の実施例8による面発光レーザダイオードの製造方法により製造される面発光LDの<011>方向の断面形状を示す断面模式図である。

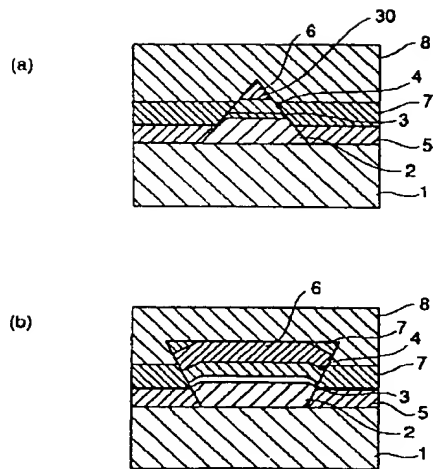
【図15】 この発明の実施例1により製造された面発光LDにおいて起こり得る第1、第2の無効電流を示す断面模式図である。

【図16】 従来の面発光LDを示す断面斜視図である。

【符号の説明】

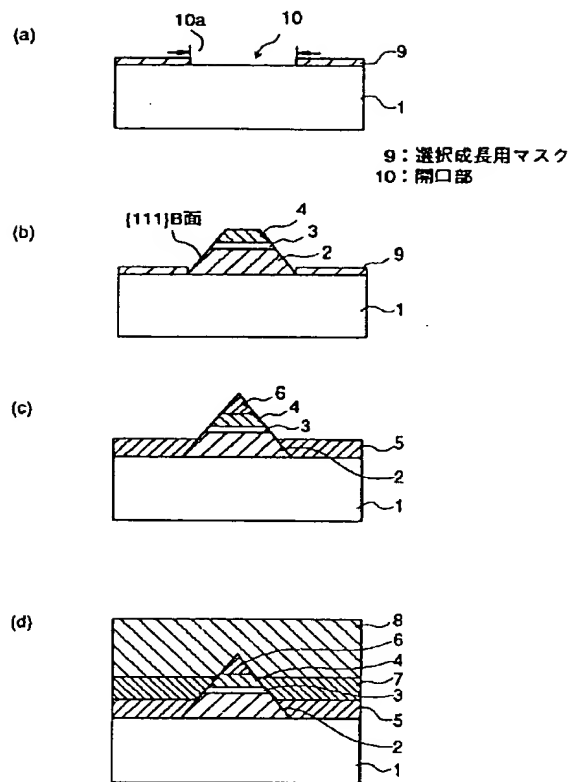
1 p型InP基板、2 p型InPバッファ層、3 InGaAsP活性層、4, 6 n型InPクラッド層、5 n型InPブロック層、7 p型InPブロック層、8 n型InPコンタクト層、9 選択成長用マスク、10 開口部、12 選択成長用マスク部、13 能動層成長用開口部、14 ダミー層成長用開口部、15 p側電極、16 第1の誘電体多層反射膜、17 第2の誘電体多層反射膜、18 n側電極、19 p型InGaAsPエッチングストッパ層、20, 21 第1、第2の半導体多層反射膜、22 p型InGaAsP層、23 p側オーミック電極、24 PHS電極、25 SiO₂膜、28 凸状湾曲部。

【図1】

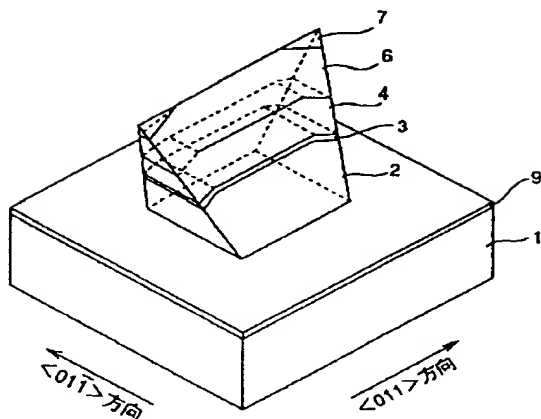


- 1: p型InP基板
 2: p型InP/バッファ層
 3: InGaAsP活性層
 4: n型InPクラッド層
 5: n型InPブロック層
 6: n型InPクラッド層
 7: p型InPブロック層
 8: n型InPコンタクト層

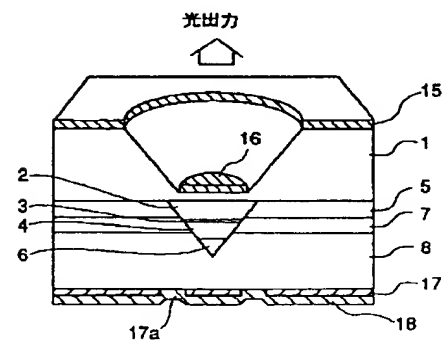
【図2】



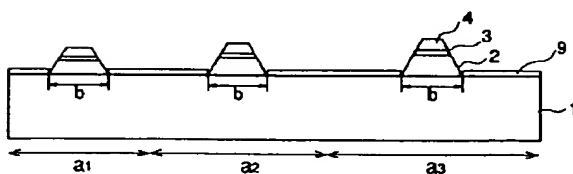
【図4】



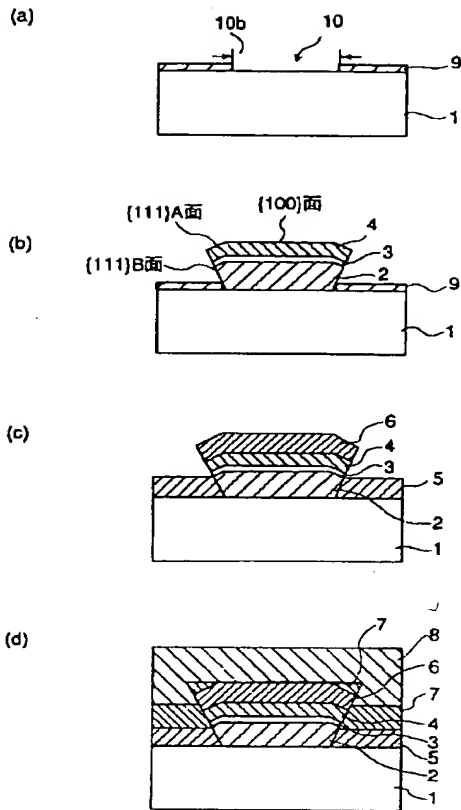
【図5】



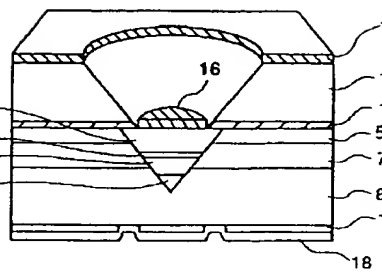
【図11】



【図3】

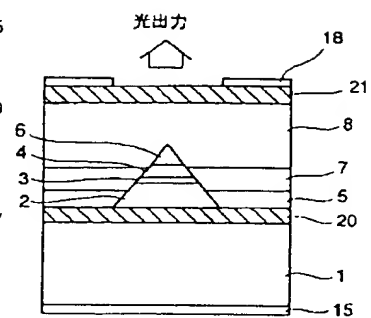


【図6】



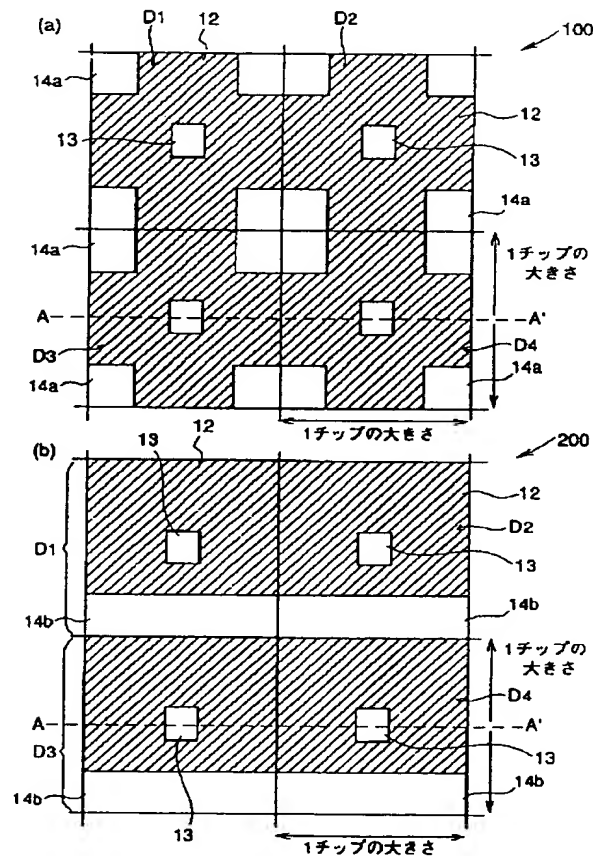
15: p側電極
16: 第1の誘電体多層反射膜
17: 第2の誘電体多層反射膜
18: n側電極
19: p型InGaAsPエッチングストップ層

【図7】

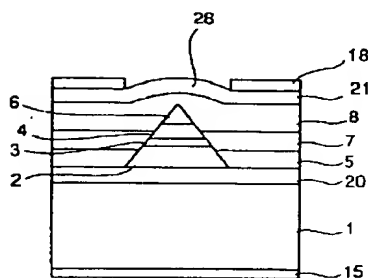


20, 21: 第1, 第2の半導体多層反射膜

【図8】

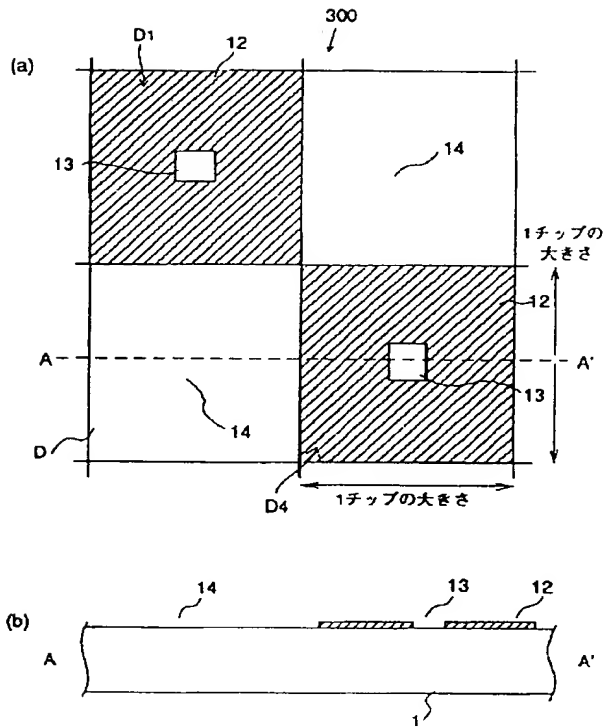


【図14】



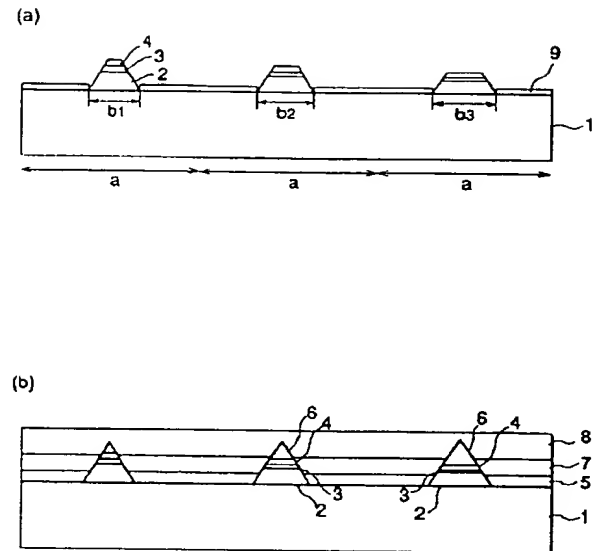
28: 凸状湾曲部

【図 9】

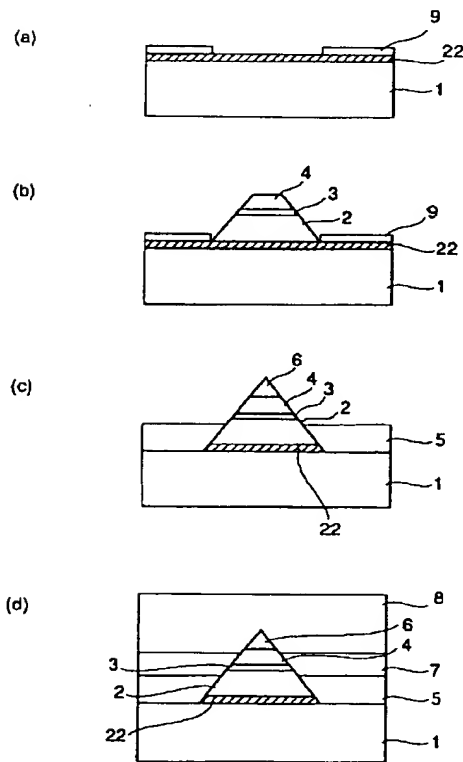


12: 選択成長用マスク部
13: 能動層成長用開口部
14: ダミー層成長用開口部

【図 10】

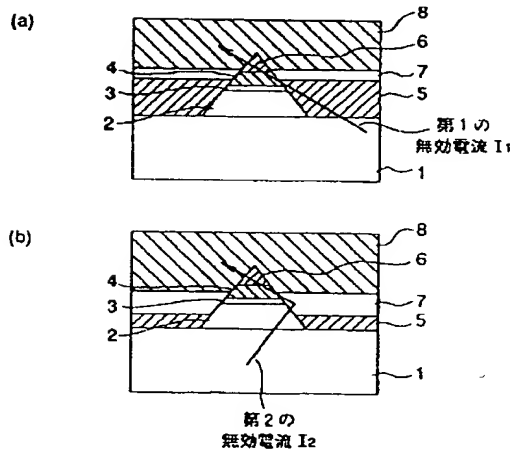


【図 12】

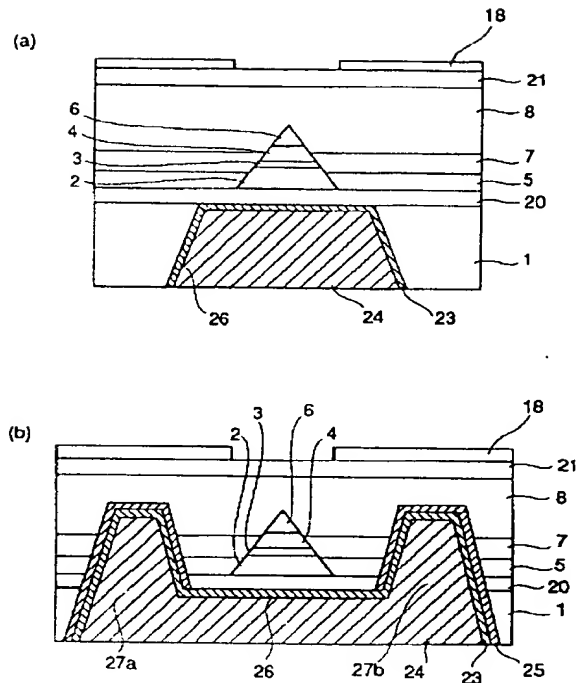


22: p型InGaAsP層

【図 15】



【図13】



23: p側オーミック電極
 24: PHS電極
 25: SiO₂膜

【図16】

